

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Centro Tecnológico - CTC

Departamento de Informática e Estatística - INE

Sistema de Informação

Marco Túlio Venturelli Nascimento

**Análise Comparativa de Protocolos em Smart Home: Considerações em
Conectividade**

Trabalho de Conclusão de Curso

Volume I

Florianópolis

2016

Marco Túlio Venturelli Nascimento

**Análise Comparativa de Protocolos em Smart Home: Considerações em
Conectividade**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Professor João Cândido Dovichi

Volume I

Florianópolis

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Nascimento, Marco Túlio Venturelli
Análise Comparativa de Protocolos em Smart Home :
Considerações em Conectividade / Marco Túlio Venturelli
Nascimento ; orientador, Dr. João Cândido Dovicchi -
Florianópolis, SC, 2016.
55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Sistema de Informação.

Inclui referências

1. Sistema de Informação. 2. Smart Home. 3. IoT. 4.
Protocolo. I. Dovicchi, Dr. João Cândido . II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Sistema de
Informação. III. Título.

Dedico este trabalho a minha mãe Arlete e minha esposa Laís que foram partes essenciais na minha motivação para terminar este trabalho.

Agradecimentos

Agradeço a minha família, minha esposa e ao meu orientador pela paciência e pela ajuda comigo nessa jornada levemente prolongada por mim.

Fica meu agradecimento também aos meus amigos Eduardo Du Pasquier Brasileiro e ao Alessandro Vieira Dos Reis que me ajudaram a revisar e terminar o meu trabalho.

“Para mim, é muito melhor compreender o universo como ele realmente é do que persistir no engano, por mais satisfatório e tranquilizador que possa parecer.”

Carl Sagan

Resumo

Smart Home é a casa que conecta todos os tipos de dispositivos eletrônicos entre si através da internet, permitindo que eles sejam remotamente controlados, monitorados ou acessados.

Smart Home já faz parte de 0,77% das famílias em todo o mundo em 2016, espera-se crescer para 2,97% até 2020, aproximadamente 44,1 milhões de famílias, trazendo a convergência de uma série de áreas como: entretenimento, segurança, gerenciamento de energia e saúde.

O bloco fundamental na construção da rede doméstica em Smart Home são os protocolos de comunicação. Os dispositivos que fazem parte de Smart Homes formam uma rede local onde as comunicações são ativadas por diferentes protocolos. Como a maioria dos dispositivos são concebidos por empresas diferentes, com diferentes padrões e tecnologias, existe um grande problema na sua conectividade.

Visando o desafio de conectividade, este trabalho pretende analisar os principais protocolos de dispositivos sem fio utilizados em redes doméstica que são Bluetooth LE, ZigBee, Z-Wave e o Thread e comparar os mesmos nos desafios em conectividade, como intemporalidade, autogestão, confiabilidade, banda, consumo de energia e autenticação.

Palavras-chaves: Smart Home. Thread. ZigBee. Z-Wave. Bluetooth LE

Abstract

Smart Home is the house that connects all types of electronic devices to each other over the internet, allowing them to be remotely controlled, monitored or accessed.

Smart Home is already part of 0.7% of family's houses worldwide in 2016, it is expected to grow to 2.97% by 2020, approximately 44.1 million houses, bringing the convergence of a number of areas such as: entertainment, security, energy management and health.

The fundamental block in the construction of the home network in Smart Home are the communication protocols. Devices that are part of Smart Homes make a local network where communications are activated by different protocols. As most devices are designed by different companies with different standards and technologies, there is a big problem with their connectivity.

Aiming at the challenge of connectivity, this paper intends to analyze the main protocols of wireless devices used in domestic networks that are Bluetooth LE, ZigBee, Z-Wave and Thread and compare them in connectivity challenges such as timelessness, self management, reliability, Bandwidth, power consumption and authentication.

Keywords: Smart Home. Thread. ZigBee. Z-Wave. Bluetooth LE

Lista de ilustrações

Figura 1 – O quadro geral da IoT. (AL-FUQAHA et al., 2015)	23
Figura 2 – Elementos IoT (A. Al-Fuqaha et al., 2015)	24
Figura 3 – Ilustração do padrão ZigBee. (Øystein Løvda Andersen, 2016) . . .	29
Figura 4 – Comportamento da rede ZiegBee (Cheng et al., 2009)	30
Figura 5 – Ilustração do protocolo (Øystein Løvda Andersen, 2016)	32
Figura 6 – Exemplo do funcionamento dos dispositivos.(Øystein Løvda Andersen, 2016)	33
Figura 7 – Ilustração de pilhas de protocolo BLE (Øystein Løvda Andersen, 2016)	35
Figura 8 – Redes pinonet interagindo (Cheng et al., 2009)	36
Figura 9 – Exemplo de camadas (threadgroup.org, 2015)	38
Figura 10 – Exemplo de uma rede Thread (threadgroup.org, 2015)	40

Lista de tabelas

Tabela 1 – Especificação ZigBee	31
Tabela 2 – Especificação Z-Wave	34
Tabela 3 – Especificação Bluetooth LE	37
Tabela 4 – Especificação Thread	40
Tabela 5 – Participantes	44

Lista de abreviaturas e siglas

6LoWPAN	Low power Wireless Personal Area Networks
AES	Advanced Encryption Standard
DES	Data Encryption Standard
EXI	Efficient XML Interchange
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IPv6	Internet Protocol version 6
LE	Low Energy
LMSC	LAN/MAN Standards Committee
M2M	Machine to Machine
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MIMO	multiple-input multiple-output
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OSI	Open System Interconnection
OWL	Ontology Web Language
PAN ID	Personal Area Network Identification
RDF	Resource Description Framework
REEDs	Router-eligible End Devices
TDES	Triple Data Encryption Standard

TGah	Task Group
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TIS	Sistemas Inteligentes de Transporte
W3C	World Wide Web Consortium

Sumário

1	Dedico este trabalho a minha e minha esposa que foram partes essenciais na minha motivação para terminar este trabalho.	
	Introdução	16
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Objetivos Gerais	19
1.1.2	Objetivos específicos	19
1.2	Justificativa	19
1.3	Resultados esperados	19
1.4	Estrutura do Trabalho	20
2	Fundamentação Teórica	21
2.1	IPv6	21
2.2	6LoWPAN	21
2.3	AES	21
2.4	TLS	22
2.5	DTLS	22
2.6	Internet of Things	22
2.6.1	Identificação	24
2.6.2	Sensores	24
2.6.3	Comunicação	25
2.6.4	Computação	25
2.6.5	Serviços	25
2.6.6	Semântica	26
2.7	Smart Home	27
3	Introdução aos Protocolos	28
3.1	ZigBee	28

3.1.1	Camada	28
3.1.2	Dispositivos e Topologia	29
3.1.3	Segurança	30
3.2	Z-Wave	31
3.2.1	Camada	31
3.2.2	Dispositivo e Topologia	32
3.2.3	Segurança	33
3.3	Bluetooth LE	34
3.3.1	Camada	35
3.3.2	Dispositivo e Topologia	35
3.3.3	Segurança	36
3.4	Thread	37
3.4.1	Camada	37
3.4.2	Dispositivos e Topologia	38
3.4.3	Segurança	40
4	Metodologia	42
4.1	Definição do tipo de pesquisa	42
4.2	Metas	42
4.3	Limitação	43
4.4	Riscos	43
4.5	Custos	43
4.6	Recursos Humanos	43
5	Resultados: Desafios de conectividade	45
5.1	Interoperabilidade	45
5.2	Autogestão	46
5.3	Confiabilidade	47
5.4	Banda	48
5.5	Consumo de Energia	48
5.6	Autenticação	49

5.7	Resumo	49
6	Conclusões e Sugestão de Trabalhos	51
6.1	Sugestões de Trabalhos Futuros	51
	Referências	52
	APÊNDICES	55

1 Dedico este trabalho a minha e minha esposa que foram partes essenciais na minha motivação para terminar este trabalho.

Introdução

Fica meu agradecimento aos meus amigos Eduardo Brasileiro e ao Alessandro Vieira Dos Reis

Smart Home is already part of 0.7% of family's houses worldwide in 2016, it is expected to grow to 2.97% by 2020, approximately 44.1 million houses, bringing the convergence of a number of areas such as: entertainment, security, energy management and health.

The fundamental block in the construction of the home network in Smart Home are the communication protocols. Devices that are part of Smart Homes make a local network where communications are activated by different protocols. As most devices are designed by different companies with different standards and technologies, there is a big problem with their connectivity.

Aiming at the challenge of connectivity, this paper intends to analyze the main protocols of wireless devices used in domestic networks that are Bluetooth LE, ZigBee, Z-Wave and Thread and compare them in connectivity challenges such as timelessness, self management, reliability, Bandwidth, power consumption and authentication.

Keywords: Smart Home. Thread. ZigBee. Z-Wave. Bluetooth LE

Com os avanços na tecnologia de semicondutores, se permite cada vez mais soluções de baixo custo e com o menor consumo de energia para atuar diretamente a rede sem fio, em embarcados e em sensores, o que leva a um grande interesse na IoT (Internet das coisas ou "Internet of Things"), definida como a interligação de objetos do cotidiano em rede. IoT é considerada como uma tecnologia viável para o mercado

Capítulo 1. Dedico este trabalho a minha e minha esposa que foram partes essenciais na minha motivação para terminar este trabalho.

de eletrônicos, e a Smart Home (Casa Inteligente) tem sido apontada como um dos segmentos de mercado com elevado potencial para a implantação da IoT, de modo a permitir automação, gerenciamento de energia e conectividade. (SANTOSO; VUN, 2015)

De acordo com a Gartner, haverá cerca de 26 bilhões de dispositivos IoT em 2020, excluindo pcs, smartphones e tablets, representando um aumento de quase 30 vezes o de 0,9 bilhões de 2009, IoT em produtos e prestação de serviços vai gerar receita adicional superior a US \$ 300 bilhões, principalmente em serviços, em 2020, o que irá resultar em US \$ 1,9 trilhão na econômica global em valor agregado. (Inc. Gartner, 2013)

Segundo (NESHEIM; ROSNES, 2016), Smart Homes já faz parte de 0,77% das famílias em todo o mundo em 2016, espera-se crescer para 2,97% até 2020 (cerca de 44,1 milhões de famílias). Empresas novas e antigas estão entrando no mercado de Smart Homes, criando sistemas completos, hubs inteligentes e dispositivos inteligentes. Para se posicionar e obter vantagens, as empresas estão cada vez mais criando alianças.

O conceito de Smart Home é baseado na interação entre serviços e recursos. Esta ideia resulta de uma convergência de várias áreas: entretenimento, segurança, gerenciamento de energia e cuidados de saúde. O paradigma Smart Home pode ser a resposta a essas demandas, desde que a residência esteja equipada com tecnologias que observam os habitantes e ofereçam serviços pró-ativos que podem proporcionar conforto, segurança, economia de energia, sustentabilidade e atendimento domiciliar. Smart Home é a casa que conecta a todos os tipos de dispositivos digitais para se comunicar entre si através da internet, permitindo que eles sejam remotamente controlados, monitorados ou acessados. A implementação bem sucedida de Smart Home em grande escala, pode ajudar a resolver alguns dos principais desafios no século XXI, como o ganho de eficiência no consumo de energia ou facilitar a expansão de serviços avançados em saúde para a população que envelhece rapidamente em

Introdução
todo o mundo. As Smart Homes irão alterar radicalmente a forma como as pessoas

interagem uns com os outros e como eles gerenciam suas vidas privadas. Como resultado, as pessoas vão começar a desempenhar um papel importante neste esforço pela adição de tecnologia na gestão interna de suas casas, que por sua vez irá apoiá-los para limitar o desperdício de energia e também para receber serviços de saúde que são atualmente centralizadas e fornecidos por hospitais. (MENDES et al., 2015)

Os dispositivos que fazem parte de Smart Homes formam uma rede local onde as comunicações são ativadas por diferentes protocolos. Como a maioria dos dispositivos são concebidos por empresas diferentes, com diferentes padrões e tecnologias, existe um grande problema na sua conectividade. Há muitos esquemas de comunicação e interfaces dentro de uma mesma rede doméstica, essas conexões devem permitir uma comunicação fácil entre os dispositivos sem interferência com outras redes sem fio. Entre os inúmeros protocolos usados pra conexão na rede sem fio em uma Smart Home se destacam Bluetooth LE, ZigBee, Z-Wave e o Thread. (SAMUEL, 2016)

Especificações de Smart Home em interconexão e tecnologias de comunicação são relativamente novas e ou em desenvolvimento, a maioria dos protocolos de comunicação disponíveis foram desenvolvidos antes do advento da visão Smart Home. Consequentemente, os estudos de avaliação são cruciais para determinar se estes protocolos são adequados para as necessidades de comunicação de Smart Home. (MENDES et al., 2015)

Este trabalho tem como objetivo analisar os padrões de protocolos de dispositivos sem fio utilizados em redes doméstica e comparar como abordam os desafios de conectividade em Smart Home.

1.1 Objetivos

Introdução

19

1.1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo revisar e comparar os protocolos Bluetooth LE, ZigBee, Z-Wave e o Thread de rede sem fio utilizados em Smart Home e seus principais desafios de conectividade visando assim ajudar na escolha do protocolo para um projeto em Smart Home.

1.1.2 Objetivos específicos

Obter conhecimentos sobre o estado da arte dos protocolos

Apresentar desafios de conectividade em Smart Home

Comparar como cada protocolo se comporta em cada desafio

1.2 Justificativa

Como até o presente momento não existe um padrão global para protocolos na criação de *Smart Homes*, os protocolos mais comumente usados são proprietários, como por exemplo *Z-Wave* e *ZigBee*. Esse o problema justifica o presente trabalho a ter com a finalidade de facilitar a escolha de qual protocolo adotar em projetos em *Smart Home*, apresentar um protocolo aberto com grande potencial de aceitação o *Thread* e como estes protocolos enfrentam os desafios de conectividade em Smart Homes. Visando assim ajudar no processo de qual ou quais protocolos adotar em um projeto de Smart Home.

1.3 Resultados esperados

Como não existe um padrão de protocolo de rede em Smart Home, pretende-se com esse estudo comparativo facilitar na escolha protocolo para quem deseja criar projetos para Smart Home e com isso aprofundar no estado da arte dos protocolos.

Os demais capítulos desse trabalho são os seguintes:

Fundamentação Teórica

Introdução as tecnologias para melhor entendimento do trabalho, apresentação do surgimento dos conceitos *IoT* e de *Smart Home* e suas características.

Introdução aos Protocolos

Descrição dos protocolos *Bluetooth LE*, *ZigBee*, *Z-Wave* e o *Thread* , apresentado um breve histórico de cada, como são suas camadas, seus dispositivos, sua topologia e como funcionada sua segurança.

Metodologia

Definição do tipo de pesquisa, metas, limitação, riscos, custos e recursos humanos.

Resultados: Desafios de conectividade

Apresentar resumidamente cada desafio sobre conectividade em *Smart House* e como cada protocolo aborda os mesmos.

Conclusão e Sugestões de Trabalhos

Conclusão do trabalho, comentários e sugestão de trabalho futuro.

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo contém a introdução de tecnologias e a revisão dos principais conceitos de IoT e Smart Home.

2.1 IPv6

Segundo (ANDERSEN, 2016), IPv4 (Internet Protocol version 4) apoia um intervalo de endereços de 2^{32} (4,2 bilhões) endereços, muito tempo atrás a indústria identificou esse problema em IPv4. A partir daí surgiu o IPv6 (Internet Protocol version 6) com seus 2^{128} (mais de 340 trilhões) de endereços únicos. Além de resolver o problema do endereçamento o IPv6 trouxe outros recursos como autoconfiguração de endereço, simplificação do formato do cabeçalho e etc.

2.2 6LoWPAN

A fim de habilitar o IPv6 em redes de baixa potência através de uma camada de adaptação, foi definido o *IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks* (6LoWPAN). 6LoWPAN oferece compressão de cabeçalho, fragmentação e remontagem de quadros de configuração automática sem estado para garantir a compatibilidade IPv6 em redes de baixa potência como IEEE 802.15.4 e Bluetooth Low Energy. (MONTENEGRO et al., 2007)

2.3 AES

Advanced Encryption Standard (AES) foi desenvolvido por dois Belgas criptógrafos Vincent Rijmen e Joan Daemen. AES é uma das mais conhecidas e respeitadas normas. Utiliza um bloco de 128 bits, com três chaves de diferente tamanho, com 128, 196 e 256 bits, onde Rijndael permite vários tamanhos de bloco com 128, 196 e 256 bits e para cada. Também permite vários tamanhos de chave, de novo 128, 196 e 256 bits. O algoritmo AES é um algoritmo de chave simétrica, o que significa que a mesma

chave é usada para criptografar e descriptografar uma mensagem. Além disso, o texto cifrado produzido pelo algoritmo de AES é o mesmo tamanho que a mensagem de texto simples. (NAGDEVE; GHODESWAR, 2015)

2.4 TLS

Transport Layer Security (TLS) é o sucessor do *Secure Sockets Layer* (SSL). É um protocolo criptográfico destinado a fazer uso do *Transmission Control Protocol* (TCP) para fornecer um serviço seguro e confiável *end-to-end*. (ANDERSEN, 2016)

2.5 DTLS

Datagram Transport Layer Security (DTLS) é uma continuação do TLS, para fornecer TLS sobre *User Datagram Protocol* (UDP). O protocolo é simplificação para TLS e adiciona somente algumas funcionalidades para lidar com o problema de perda de dados, duplicado e ou recebido na ordem errada. (ANDERSEN, 2016)

2.6 Internet of Things

O termo IoT foi publicado pelo trabalho do centro Auto-ID do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), que em 1999 começou o protótipo da infra-estrutura de Radio-Frequency IDentification (RFID) em 2002, o co-fundador e ex-chefe Kevin Ashton escreveu “we need an internet of things to standardization of computer to realize the real world” (ASGHAR; NEGI; MOHAMMADZADEH, 2015). Trazendo a ideia de que cada objeto deveria ser unicamente endereçável, por consequência o conceito de IoT foi ampliado, adicionando a comunicação de objetos por meio da internet. Com isso, é esperado que a internet passe a comunicar objetos com pessoas e objetos com objetos, do inglês Machine to Machine (M2M), além de pessoas com pessoas.

A IoT permite que objetos físicos, vejam, ouçam, pensem e executem trabalhos, podendo eles se comunicarem para compartilhar informações e coordenar as decisões. A IoT explora a inteligência de suas tecnologias subjacentes, tais como

computação ubíqua pervasiva, dispositivos embarcados, tecnologias de comunicação, redes de sensores e protocolos de IoT.(AL-FUQAHA et al., 2015)

Objetos inteligentes, juntamente com suas tarefas, constituem aplicações de domínio específico nos mercados verticais, enquanto os serviços de computação e os serviços analíticos da aplicação representam os mercados horizontais:



Figura 1 – O quadro geral da IoT. (AL-FUQAHA et al., 2015)

Segundo (AL-FUQAHA et al., 2015) os seis principais elementos necessários para fornecer a funcionalidade na IoT são identificação, sensor, comunicação, computação, serviço e semântica. A seguir um resumo sobre os seis elementos:



Figura 2 – Elementos IoT (A. Al-Fuqaha et al., 2015)

2.6.1 Identificação

A identificação é crucial para a IoT poder nomear e se corresponder com sua demanda serviços. (AL-FUQAHA et al., 2015) A ideia básica da IoT é a capacidade de qualquer coisa se conectar a qualquer momento de qualquer lugar, um esquema de nomenclatura de IoT, idealmente, deve apoiar no que, onde e quando. (ZHANG et al., 2015)

Protocolos de identificação em IoT comumente usados são o IPv6, IPv4. A especificação Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) fornece um mecanismo de compressão sobre cabeçalhos IPv6, que faz o endereçamento apropriado para redes sem fio de baixa potência. A distinção entre a identificação e endereço do objeto é imperativo, uma vez que os métodos de identificação não possuem um padrão global. Além disso, os objetos dentro da rede podem usar IPs públicos e ou privados. Os métodos de identificação são utilizados para proporcionar uma identidade clara para cada objecto no interior da rede. (AL-FUQAHA et al., 2015)

2.6.2 Sensores

São dispositivos sofisticados que são usados para detectar e responder sinais elétricos ou ópticos. Sensores convertem os parâmetros físicos em um sinal que pode ser medido eletronicamente. Em IoT, sensor recolhe dados a partir de objetos relacionados dentro da rede e enviados de volta para um banco de dados, data warehouses e ou para as nuvens. Os dados são analisados para tomar ações baseadas em serviços. Os sensores podem ser sensores inteligentes, atuadores ou vestíveis. Embarcados com sensores são normalmente utilizados para criar produtos de IoT, exemplo Arduino,

Raspberry Pi, etc. Tais dispositivos geralmente se conectam a um portal de gerenciamento central para fornecer os dados requeridos pelos clientes.(AL-FUQAHA et al., 2015; RAO et al., 2012)

2.6.3 Comunicação

Comunicação é a espinha dorsal da IoT. Existem uma grande variedade de protocolos de rede sem fio, como IEEE 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth LE (Low Energy), ZigBee, Z-Wave e Thread.(SAMUEL, 2016)

As tecnologias de comunicação da IoT se conectam a objetos heterogêneos em conjunto para oferecer serviços inteligentes. Normalmente, os nós da IoT devem operar utilizando baixa potência. (AL-FUQAHA et al., 2015)

2.6.4 Computação

Unidades de processamento e software de IoT representam o "cérebro" da IoT. Várias plataformas de hardware foram desenvolvidas para executar aplicações de IoT, tais como Arduino, UDOO, FriendlyARM, Intel Galileo, Raspberry Pi, BeagleBone, Cubieboard, Z1, WiSense, Mulle, e Sky T-Mote, já na parte de software existe uma grande gama para simulações (Cooja), sistemas operacionais leves para IoT (TinyOS, LiteOS). Também se usa plataformas nas nuvens para IoT, muitos desses serviços gratuitos. (AL-FUQAHA et al., 2015)

2.6.5 Serviços

No geral, os serviços de IoT podem ser categorizadas em quatro classes: Serviços relacionados com a identidade, informações de agregação, serviços colaborativos e serviços ubíquos. (AL-FUQAHA et al., 2015)

Serviços relacionados com a identidade:

São os serviços mais básicos e importantes que são usados em outros tipos de serviços. Cada aplicativo que precisa trazer objetos do mundo real para o mundo

virtual tem de identificar esses objetos.

Informação Agregação de Serviços:

Recolher e sintetizar as medições sensoriais que precisam ser processadas e relatadas para o aplicativo IoT.

Serviços Colaborativos:

Funciona com informações de agregação de serviços e utiliza os dados obtidos para tomar decisões e reagir em conformidade.

Serviços Ubíquos

Têm como objectivo proporcionar Serviços Colaborativos a qualquer hora que eles forem necessários para qualquer um que em qualquer lugar. Exemplos: Smart Home, edifícios inteligentes, sistemas inteligentes de transporte (TIS), automação industrial, assistência médica inteligente e cidade inteligente.

2.6.6 Semântica

Semântica na Internet das coisas se refere à capacidade de extrair conhecimento de forma inteligente por máquinas diferentes para fornecer os serviços necessários para extração de conhecimento inclui descobrir e usar recursos e modelagem de informações. Além disso, inclui reconhecer e analisar os dados para dar sentido à decisão para fornecer o serviço correto. Assim, semântica representa o cérebro do IoT. Esta exigência é apoiada por tecnologias de Web Semântica, como o Resource Description Framework (RDF) e Ontology Web Language (OWL). Em 2011, o World Wide Web Consortium (W3C) adotou o formato Efficient XML Interchange (EXI) como recomendação. (AL-FUQAHA et al., 2015)

EXI é importante no contexto da IoT, porque ele é projetado para otimizar aplicações XML para ambientes de recursos limitados. Além disso, reduz as necessidades de

largura de banda sem afetar recursos relacionados, tais como a vida da bateria, o tamanho do código, a energia consumida para o processamento e tamanho de memória. EXI converte mensagens XML para binário para reduzir a largura de banda necessária e minimizar o tamanho de armazenamento necessário. (ZHANG et al., 2015)

2.7 Smart Home

Smart Home pode ser definida como um concentrador e disseminador de informações e serviços que pretende cobrir a totalidade das áreas funcionais de uma casa, sendo operacional esta função não só para os elementos particulares que estão na casa, a fim de melhorar os níveis de conforto e qualidade, mas também para fornecer um gateway ou interface para o exterior por meio de uma interação com outros paradigmas, como uma rede inteligente e cidade inteligente que dará origem a capacidade de compartilhar toda a informação gerenciada com elementos externos. (MENDES et al., 2015)

A essência de uma Smart Home são as tecnologias de informação e comunicação (TIC) distribuídos por todo os quartos, dispositivos e sistemas de iluminação, aquecimento e ventilação informando o usuário ou com comandos automatizados para gerenciar o ambiente interno. Independentemente da configuração tecnológica de uma Smart Home, sua finalidade é melhorar a experiência de vida de alguma forma. Isto pode ser através de novas funcionalidades, como controle remoto e automação de aparelhos, através de melhoria da funcionalidade existente, como a gestão de aquecimento, melhoria da segurança ou através da prestação de serviços de monitoramento, alerta e detecção de incidentes de saúde. (WILSON; HARGREAVES; HAUXWELL-BALDWIN, 2015)

O mercado de Smart Home está crescendo rapidamente com a entrada de mais empresas de eletrodomésticos, tais como Samsung e LG , bem como empresas de TI, como o Google. (WITHANAGE et al., 2014)

3 Introdução aos Protocolos

Introdução aos protocolos: ZigBee , Tópico , Z-Wave , Bluetooth LE. Cada seção deste capítulo introduzirá aos protocolos escolhidos, com uma breve introdução de teórica e histórica dos mesmos e também alguns detalhes técnicos chave sobre como são as camadas, os dispositivos, topologia e a segurança dos mesmos.

3.1 ZigBee

ZigBee é desenvolvido pela ZigBee Alliance, é um protocolo de rede aberto baseada em padrões suportados exclusivamente pela ZigBee Alliance que utiliza os serviços de transporte da especificação IEEE 802.15.4. (RAMYA; SHANMUGARAJ; PRABAKARAN, 2011) O nome "ZigBee" vem do padrão de voo em zigue-zague que às abelhas fazem ao mover-se entre as flores para coletar o pólen, que se assemelha às teias de ligações que se formam em uma rede sem fios, por meio da qual os pacotes são encaminhados no protocolo ZigBee. (SHARMA; TEWOLDE, 2015)

ZigBee é uma tecnologia wireless bidirecional, caracterizado por ter um curto alcance, baixo custo, baixo consumo de energia, baixa taxa de transferência de dados e ser de tamanho pequeno, o que torna mais adequado para todos os domínios associados à monitorização e controle remoto que integram com sensores funcionais. ZigBee funciona banda livre de 2,4 GHz, com uma taxa de dados de até 250Kbps. (CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009)

3.1.1 Camada

ZigBee é construído sobre o padrão IEEE 802.15.4 , implementa sua própria camada de rede e uma camada aberta para aplicações específicas ZigBee. (ANDERSEN, 2016)

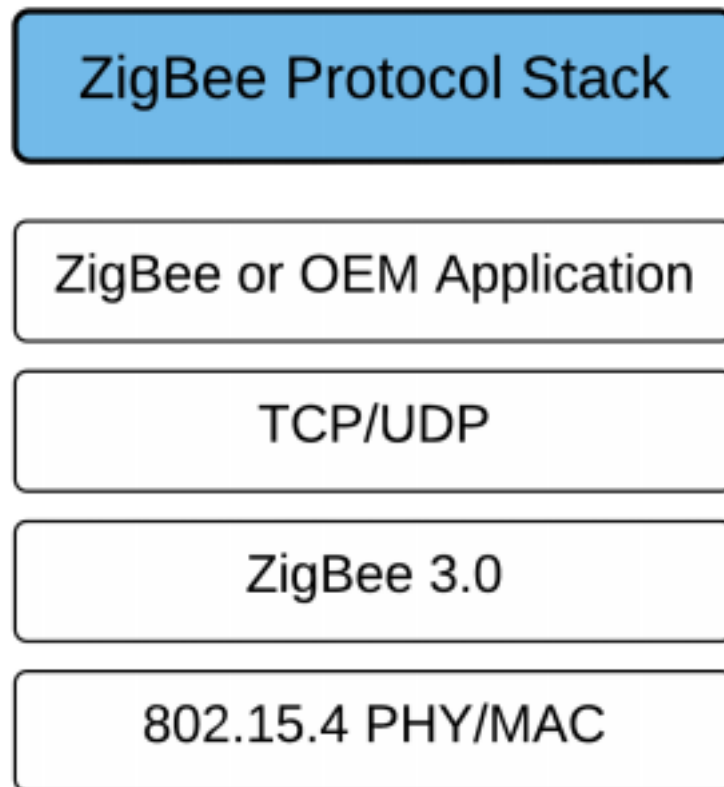


Figura 3 – Ilustração do padrão ZigBee. (Øystein Løvdaal Andersen, 2016)

3.1.2 Dispositivos e Topologia

Segundo (DESHPANDE; MADANKAR, 2015), ZigBee suporta 65535 dispositivos conectados a rede, suportando topologias estrela, árvore, e de malha. Existem três tipos de dispositivos ZigBee: coordenador, roteador e o dispositivo final:

Coordenador

Coordenador é o dispositivo raiz da rede, é o dispositivo de primeiro nível superior da rede ZigBee, que inicia a formação da rede, atribuindo uma identificação especial, chamada de *personal area network identification* (PAN ID). Também pode assumir a função de roteador da rede.

Roteador

É o dispositivo de segundo nível. Ele pode se comunicar com o coordenador ou com roteador anteriormente associado. Usado para transmitir e receber os dados, pode funcionar como um dispositivo intermediário, onde se tem capacidade de encaminhar, receber e retransmitir os pacotes.

Dispositivo Final

É o último tipo de dispositivos. Não permite associação e não participa de roteamento. É um dispositivo filho que depende dos dispositivos pai como coordenador ou roteador para fornecer a cobertura.

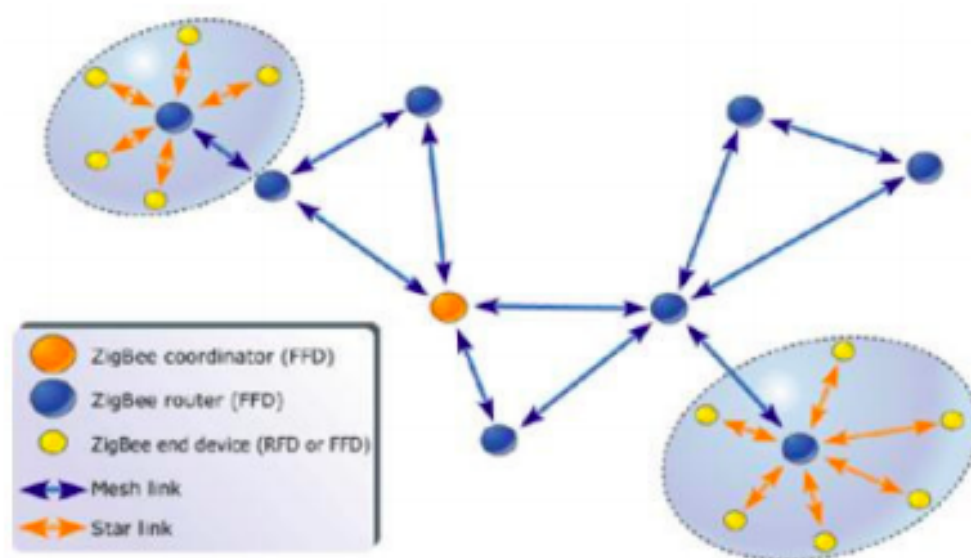


Figura 4 – Comportamento da rede ZiegBee (Cheng et al., 2009)

3.1.3 Segurança

Na parte de segurança de rede usa o protocolo AES, uma das mais conhecidas e respeitadas normas e também usa *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) para espalhar os pacotes em símbolos e remontá-las na outra extremidade. (ZAREEI et al., 2011)

Segundo (ANDERSEN, 2016), ZigBee tem vulnerabilidades conhecidas em seu protocolo de troca de chaves que poderia comprometer a chave de rede utilizada pela

AES, através de ataques *Sniffers* (programas que monitoraram a atividade da rede) é possível capturar dados da rede e executar ataques de repetição.

Tabela 1 – Especificação ZigBee

Faixa	70-300m
Numero máximo de dispositivos	65000
Taxa de dados	40-250 kbps
Frequência	915 MHz / 2,4 GHz
Tipo de rede	malha
Segurança	AES e DSSS

(C. Gomez; J. Paradells, 2010; (Zareei, M. and Zarei, A. and Budiarto, R. and Omar, M. A., 2011)

3.2 Z-Wave

Z-Wave é a tecnologia mais amplamente utilizado em sistemas de automação residencial, e de longe a tecnologia mais amplamente aceita. Criada pela Z-Wave Alliance, oferece boa confiabilidade da rede e estabilidade. Z-Wave é um dos mais antigos protocolos de automação doméstica disponíveis. A melhor característica de dispositivos Z-Wave é a sua compatibilidade cruzada entre os diferentes sistemas . Cada dispositivo Z-Wave tem um único ID de rede e cada rede tem uma identificação única, tornando o sistema seguro. Z-Wave é um protocolo de malha, e portanto, os dispositivos podem falar um com o outro. (CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009)

3.2.1 Camada

Uma possível ilustração de Z-Wave é mostrado na figura a seguir:

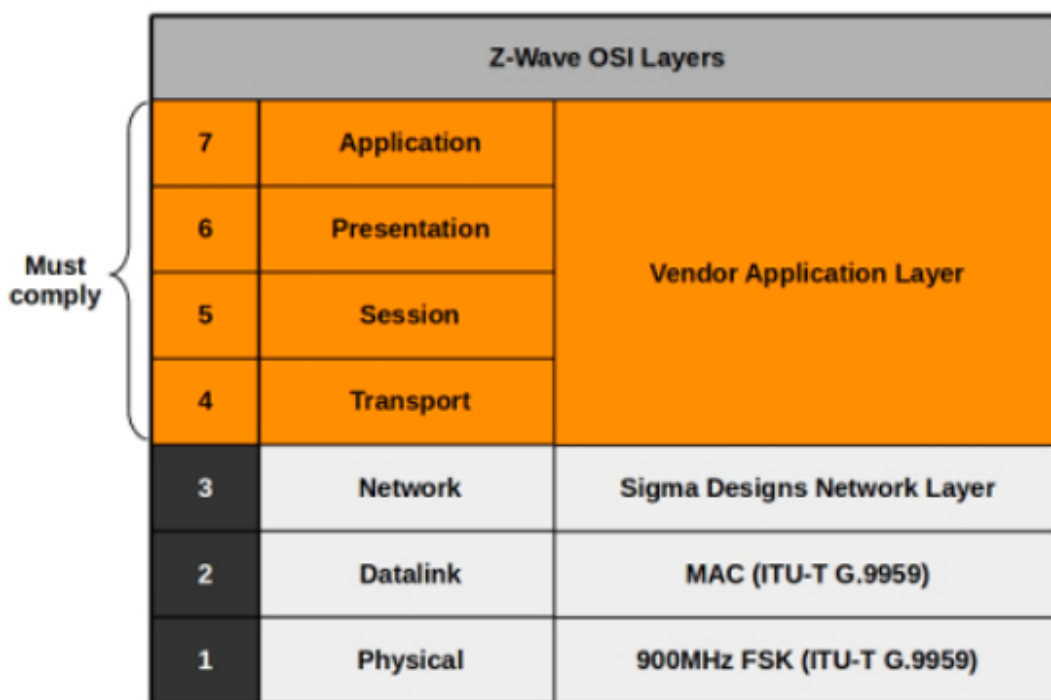


Figura 5 – Ilustração do protocolo (Øystein Løvda Andersen, 2016)

Segundo (GOMEZ; PARADELLS, 2010) Z-Wave opera principalmente nas bandas ISM de 900 MHz. Z-Wave permite a transmissão em 9,6 e 40 kb/s taxas de dados usando modulação de desvio de frequência binária de chaveamento. A versão Z-Wave 400 séries, um único chip suporta a banda de 2,4 GHz e oferece velocidades de transmissão de até 200 kb/s.

Embora Z-Wave seja mais popular do que ZigBee para aplicações de automação residenciais, segundo (KIM et al., 2014), especialistas do setor advertem que Z-Wave sofre de algumas limitações quando comparado com ZigBee. Zigbee tem menor latência (10 ms) e um maior rendimento do que o Z-Wave (latência 100 msec). Z-Wave pode ter a interoperabilidade superior, mas possui uma única fonte de emissão.

3.2.2 Dispositivo e Topologia

Z-Wave possui dois dispositivos, controlador e dispositivo controlável. O controlador é o líder da rede, lida com o gerenciamento de rede, segurança e conexão

com a Internet. Usando um topologia de rede em malha. (ANDERSEN, 2016)

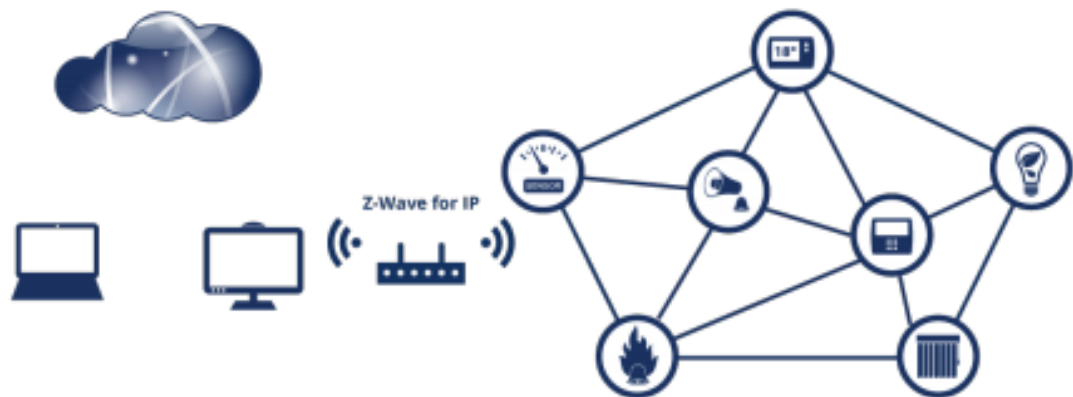


Figura 6 – Exemplo do funcionamento dos dispositivos.(Øystein LøvdaI Andersen, 2016)

3.2.3 Segurança

Segundo (ZAREEI et al., 2011) o protocolo é em grande parte imune a interferências de eletrodomésticos sem fio, tais como roteadores Wi-Fi, telefones sem fio e dispositivos Bluetooth que funcionam na mesma gama de frequências. Suportada por mais de 160 fabricantes em todo o mundo. Na parte de segurança de rede usa o protocolo *Triple Data Encryption Standard* (TDES) . O *Data Encryption Standard* (DES) é considerado inseguro para muitas aplicações devido ao tamanho da chave (56 bits), a questão de ser usado triplamente o DES é pra se tentar ter uma segurança maior.

Ficou demonstrado que é possível injetar um falso controlador e que com isso conseguir controlar até mesmo travas de porta. (FULLER; RAMSEY, 2015)

Tabela 2 – Especificação Z-Wave

Faixa	30-100m
Numero máximo de dispositivos	232
Taxa de dados	100 kbps
Frequência	908/916 MHz
Tipo de rede	malha
Segurança	TDES

(C. Gomez; J. Paradells, 2010; Zareei, M. and Zarei, A. and Budiarto, R. and Omar, M. A., 2011)

3.3 Bluetooth LE

Em 1998, Ericsson, Nokia e a Intel desenvolveram o padrão conhecido como Bluetooth, o nome Bluetooth foi dado em homenagem ao rei Harald Bluetooth, que uniu os países da Escandinávia em 970 dC., já que Bluetooth pretendeu "unir" os telefones celulares, acessórios e notebooks. Além disso, a Ericsson e a Nokia são baseados nos países escandinavos (Suécia e Finlândia, respectivamente). (WANT; SCHILIT; LASKOWSKI, 2013)

Bluetooth LE (IEEE 802.15.1) é um padrão destinado a ser uma maneira de conexão segura e barata de transferência de dados entre dispositivos compatíveis. Bluetooth LE tem as bandas de rádio de frequência de 2,4-2,485 GHz. Ele reduz significativamente o consumo de energia de dispositivos Bluetooth e permite a operação de longo prazo usando baterias de célula moeda. Bluetooth oferece uma infra-estrutura de ligação direta a partir de smartphones e tablets, permitindo aos usuários controlar eletrodomésticos de seus dispositivos móveis. (SAMUEL, 2016)

Bluetooth LE é um grande aliado a IoT, pois os smartphones e boa parte dos tablets já tem tecnologia de Bluetooth LE embutido, facilitando assim a conexão

dos mesmos a aplicações voltadas a IoT. Assim, o custo de leitores ou dispositivos de porta de entrada de Internet é drasticamente reduzido. (WANT; SCHILIT; LASKOWSKI, 2013)

3.3.1 Camada

Bluetooth LE negligencia a necessidade de um roteador de borda, como, por exemplo, em Thread e no Zigbee.(ANDERSEN, 2016)

Podendo ser duas formas:

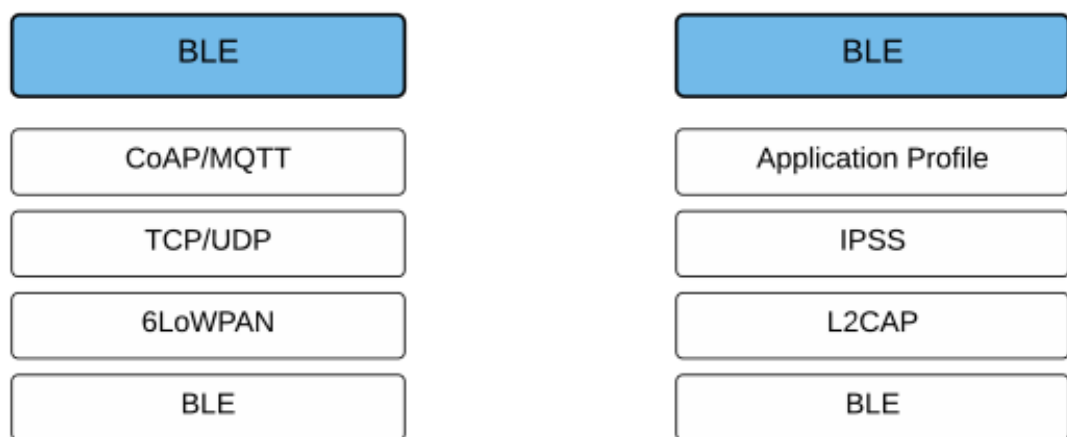


Figura 7 – Ilustração de pilhas de protocolo BLE (Øystein Løvda Andersen, 2016)

3.3.2 Dispositivo e Topologia

Segundo (CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009), rede Bluetooth padrão tem o padrão piconet, consiste de um grupo de dispositivos Bluetooth que compartilham o mesmo canal de comunicação. Nela apenas um dispositivo serve como unidade mestre que sincroniza ativamente os outros dispositivos, enquanto o resto dos dispositivos servem como unidades escravas que passivamente estabelecem a comunicação com a unidade mestre. Tecnicamente, uma unidade mestre é capaz de interagir com um máximo a sete unidades escravo ao mesmo tempo e sincroniza-se com mais do que 200 unidades escravo sem comunicação.

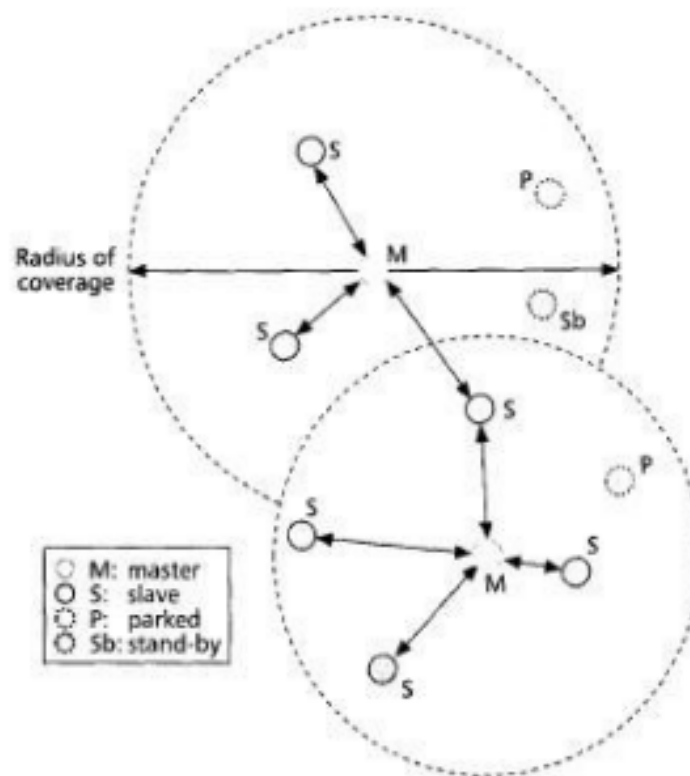


Figura 8 – Redes pinonet interagindo (Cheng et al., 2009)

3.3.3 Segurança

Usa chave de 128-bit AES , outra 24-bit verificação de redundância cíclica e 32-bit para integridade de mensagem.(LINDBERG; COLLIN, 2016)

Bluetooth fornece um mecanismo de desafio-resposta com um segredo comumente compartilhado e uma chave de ligação produzido por um número de identificação pessoal fornecido pelo usuário, desse modo a permitir que um usuário para estabelecer um conexão segura entre dispositivos Bluetooth. Além disso, o elemento de ligação destina-se à geração de uma sequência de chaves de criptografia para a transmissão de dados, após a autenticação do dispositivo.(CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009)

Tabela 3 – Especificação Bluetooth LE

Faixa	10m
Numero máximo de dispositivos	um pra muitos
Taxa de dados	1 Mbps
Frequência	2,4 GHz
Tipo de rede	piconet
Segurança	AES

(S. S. I. Samuel, 2016)

3.4 Thread

Thread é um protocolo aberto de rede sem fio em IPv6, a próxima geração de protocolo de endereçamento de internet. (SAMUEL, 2016) Proposto em 2014 por membros fundadores do Thread Group (ARM, Freescale Semiconductor, Nest Labs, Samsung Electronics, Silicon Laboratories e Yale Security), o padrão foi lançado em julho 2015. (ANDERSEN, 2016) O Thread Group é sem fins lucrativos e focado em fazer a base para a IoT em smart homes, educar desenvolvedores de produtos e consumidores sobre as características e vantagens da Thread. (threadgroup.org, 2015)

A ZigBee Alliance e Thread Group estabeleceram um acordo de colaboração em abril de 2015 para explorar as oportunidades de ampliar as bibliotecas de aplicação do ZigBee para o protocolo de rede da Thread. (PETRONE, 2015)

3.4.1 Camada

Thread usa o modelo em camadas *Open System Interconnection* (OSI). O modelo OSI padroniza sistemas de comunicação com hardwares e componentes físicos na parte inferior e aplicações no topo.

A seguir uma ilustração das camadas protocolo:

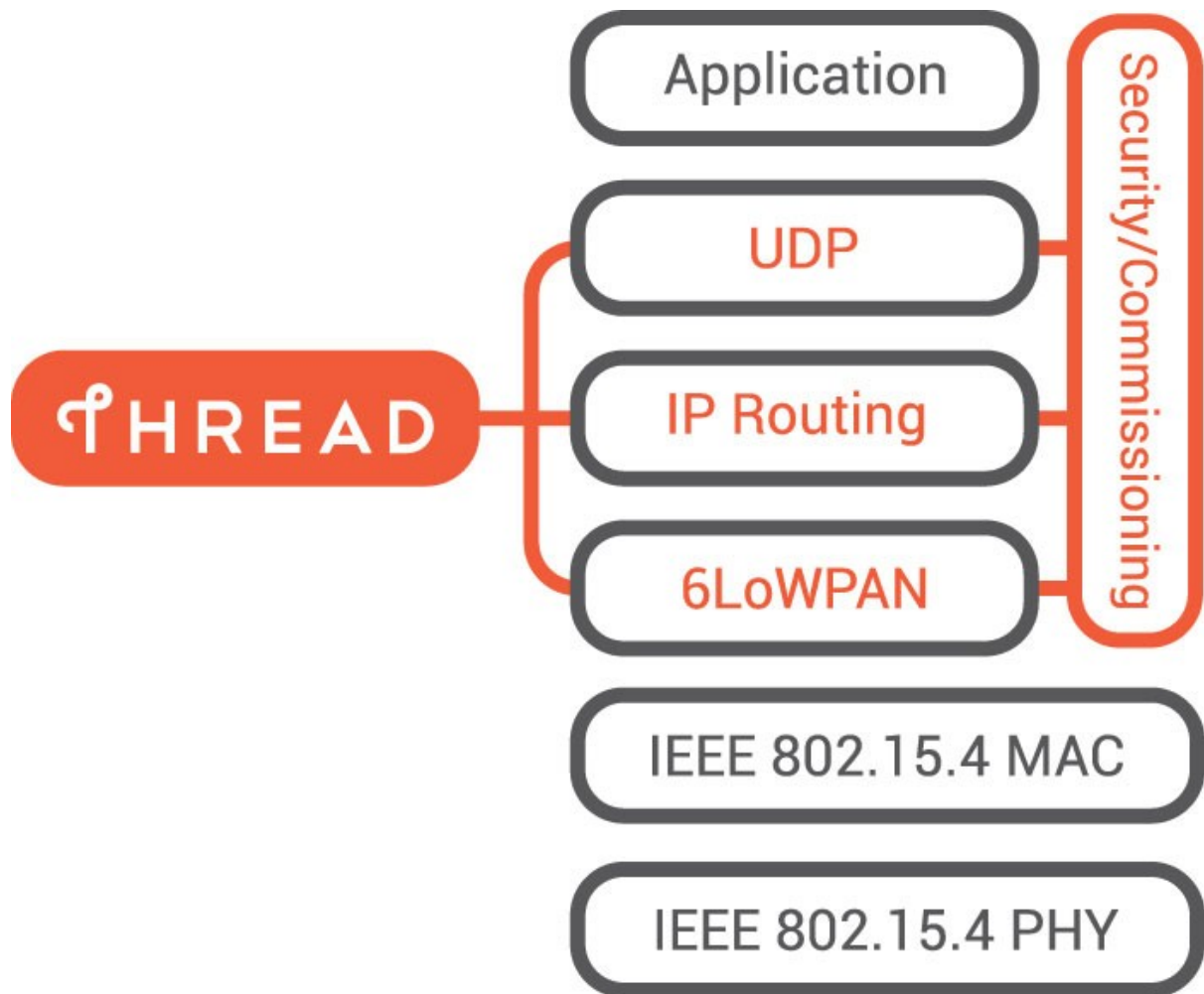


Figura 9 – Exemplo de camadas (threadgroup.org, 2015)

Thread usa o padrão *Internet Engineering Task Force* (IETF) , 6LoWPAN , IP Routing e User Datagram Protocol (UDP). 6LoWPAN permite a comunicação eficiente IPv6 sobre redes IEEE 802.15.4 , fazendo o possível para enviar pacotes IPv6 com baixo consumo de energia em conexões de baixa velocidade. (threadgroup.org, 2015)

3.4.2 Dispositivos e Topologia

Segundo (ANDERSEN, 2016), existem quatro tipos de dispositivos que fazem parte do protocolo Thread usando uma topologia de rede em malha:

Roteador de Borda

É um tipo específico de roteador que fornece conectividade 802.15.4 para

outros tipos de redes de físicas como, Wi-Fi e Ethernet e etc.

Provem serviços para dispositivos dentro da rede 802.15.4, incluindo serviços de encaminhamento para operações offline. Em uma rede Thread pode existir um ou mais Roteador de Borda.

Roteador

Provem serviços de roteamento para os dispositivos da rede, também uni e fornece serviços de segurança para dispositivos que tentam se juntar à rede. Não são projetados para entrar em modo sleep e também podem ser usados como REEDs (Router-eligible End Devices).

Roteador elegível como dispositivos final

O Roteador elegível como dispositivos final (Router-eligible End Devices) têm a capacidade de se tornar Roteador, mas devido às condições da rede, esse dispositivo não atua como roteador. Geralmente não encaminham mensagens ou fornecem união ou serviços de segurança para outros dispositivos na rede Thread. A Rede Thread pode usar REEDs como Roteador se necessário, sem interação do usuário.

Dispositivo final sonolento

Dispositivo final sonolento (Sleepy End Devices ou Host), são os dispositivos finais que estão ligados à rede Thread. Eles se comunicam somente através do roteador pai e não é possível reencaminhar mensagens para outros dispositivos.

A seguir uma ilustração de como uma rede Thread se comporta:

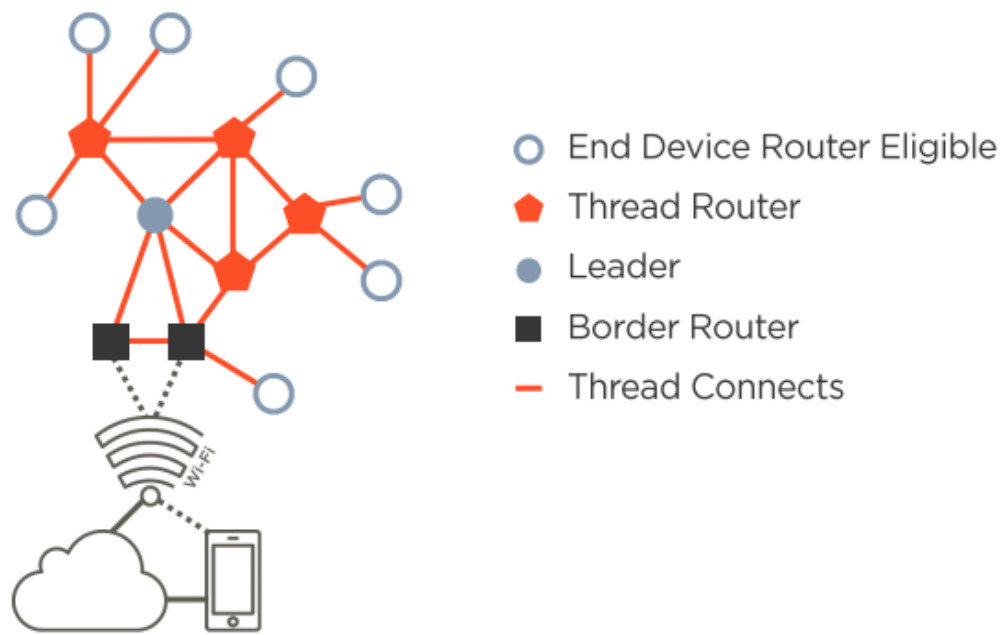


Figura 10 – Exemplo de uma rede Thread (threadgroup.org, 2015)

3.4.3 Segurança

Projetado para dispositivos dentro e ao redor de smart homes, Thread é feito para conectar com facilidade e com segurança a centenas de dispositivos entre si e diretamente à nuvem, usando protocolos de Internet (IPv6) e de baixo consumo de energia, usando rede em malha e o protocolo AES (Advanced Encryption Standard) na parte de criptografia. Thread forma uma rede baseada em IP com cada dispositivo inteligente habilitado para um IP único atuando como um host. (threadgroup.org, 2015)

Tabela 4 – Especificação Thread

Faixa	30m
Numero máximo de dispositivos	300
Taxa de dados	250 kbps

Faixa	30m
Frequência	2,4 GHz
Tipo de rede	malha
Segurança	AES

(S. S. I. Samuel, 2016)

4 Metodologia

A seguir a descrição da metodologia aplicada na construção desse trabalho de conclusão de curso:

4.1 Definição do tipo de pesquisa

Foi realizada pesquisa exploratória bibliográfica do estado da arte de IoT e Smart Home através de buscas de artigos científicos (priorizando os mais recentes a fim de entender e identificar os protocolos mais usados e ou com maior potencial de uso no futuro. Pesquisa exploratória segundo (GIL, 2002, pag. 41), visa ter maior familiaridade com o problema, construindo hipóteses e ou torná-lo mais explícito.

Após organizado os artigos relevantes a proposta foi feito a pesquisa descritiva nos protocolos, *ZigBee*, *Bluetooth LE*, *Z-Wave* e *Thread*, visando ter o conhecimento bibliográfico suficiente para poder aprofundar e compor os mesmos. Segundo (GIL, 2002, pag. 42) , pesquisa descritiva tem como objetivo a descrição de características de determinado fenômeno ou estabelecimento de relação entre variáveis. Como se trata de uma análise e não de uma criação de conceito esse tipo de pesquisa foi escolhida.

4.2 Metas

Obter conhecimento sobre o estado da arte:

Através de uma revisão narrativa dos artigos pesquisados sobre o tema, produzir a fundamentação teórica básica sobre IoT, *Smart Home* e sobre os protocolos, *ZigBee*, *Bluetooth LE*, *Z-Wave* e *Thread*.

Apresentar desafios de conectividade em Smart Home:

Apresentar resumidamente cada desafio sobre conectividade em Smart House usando como base o artigos (SAMUEL, 2016) e (MENDES et al., 2015) que contém o levanta-

mento mais atualizado sobre tema de conexão em Smart Home.

Comparar como cada protocolo se comporta em cada desafio:

Com os artigos levantados na pesquisa do estado da arte, demonstrar como cada protocolo aborda esse desafios e comparar os mesmos.

4.3 Limitação

O protocolo *Thread Group* por ter sido criado muito recentemente (julho de 2015), não possui muitos artigos científicos como fonte. (DESHPANDE; MADANKAR, 2015; SAMUEL, 2016)

Disponibilidade de informações sobre os diferentes protocolos escolhidos nesta trabalho variou bastante. Z-Wave e uma são solução proprietária, não ser aberto dificulta em oferecer manuais oficiais de especificação, enquanto outros são abertos com mais informação disponível e por consequências mais artigos. As comparações dos diferentes protocolos refletem isso.

4.4 Riscos

O riscos e as consequências de não ser capaz de terminar o trabalho a tempo, não atender todas as expectativas ou não produzir um resultado satisfatório.

4.5 Custos

Compra do serviço do site fastformat.co, que adequa às regras da Associação Brasileira de Normas Técnicas e possibilita acessar editar o trabalho online ao custo de 29,90 reais.

4.6 Recursos Humanos

Tabela 5 – Participantes

Nome	Função
Marco Túlio Venturelli Nascimento	Autor
João Cândido Dovicchi	Orientador
João Bosco Manguiera Sobral	Membro da Banca
Patricia Vilain	Membro da Banca

5 Resultados: Desafios de conectividade

Segundo (MENDES et al., 2015), a Smart Home deve funcionar de uma forma interativa e independente. Esses recursos adicionais podem então ser usados para melhorar a qualidade de vida dentro do agregado familiar em vários aspectos, tais como automação de tarefas rotineiras, a prestação de serviços de saúde, racionalização do consumo de energia, maior eficiência e segurança, bem como revolucionar o que definimos como entretenimento. Como as especificações de Smart Home em interconexão e tecnologias de comunicação são relativamente novos e ou em desenvolvimento, a maioria dos protocolos de comunicação disponíveis foram desenvolvidos antes do advento da visão Smart Home. Consequentemente, os estudos de avaliação são cruciais para determinar se estes protocolos são adequados para as necessidades de comunicação de Smart Home.

A seguir serão apresentados resumidamente os principais desafios de conectividade em Smart Home segundo (SAMUEL, 2016) e (MENDES et al., 2015), que servem de base para avaliações e a análise com os protocolos.

5.1 Interoperabilidade

A interoperabilidade é definida como a capacidade dos sistemas, aplicações e serviços trabalharem em conjunto de forma confiável e previsível. É a capacidade de dois ou mais sistemas de trocar informações e usar as informações trocadas. (PERUMAL et al., 2008)

ZigBee com sua grande capacidade de conectar dispositivos junto com o acordo com Thread Group consegue dar um passo grande a frente dos concorrentes. Segundo (SAMUEL, 2016), esse é o grande passo na consolidação de um ambiente amplamente fragmentado que inclui uma miríade esforços de padrões em todo o IoT.

Enquanto Bluetooth LE serve como uma camada de ligação entre smartphones e

Smart Homes, economizando tempo e dinheiro na adequação da tecnologia na parte de hardware. (WANT; SCHILIT; LASKOWSKI, 2013)

Já o Z-Wave segundo (SARIJARI et al., 2014), pode ter a interoperabilidade superior, mas possui um única fonte de emissão e por não ser um protocolo aberto e a Sigma Designs detém a propriedade intelectual e os fabricantes dos chips precisam da licença para ter direito de usar.

Thread além da aliança com ZigBee, possui o apoio da Google e fato de usar IPv6 já está preparado para os novos dispositivos sem precisar de adaptação. (LINDBERG; COLLIN, 2016)

5.2 Autogestão

Para existir auto gestão em Smart Home os dispositivos inteligentes devem monitorar sua própria saúde operacional e notificar os usuários sobre os possíveis problemas. Várias aplicações de rede de sensores são operados sem o apoio de infraestrutura ou a capacidade de manutenção e reparação. Para operar e colaborar com outros dispositivos, para se adaptar a falhas, mudanças no ambiente, é o requisito principal dos sensores nós (controladores), o qual se destina a ser completamente independente da intervenção humana. (MENDES et al., 2015)

Segundo (CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009), a instalação e implantação de Z-Wave é simples, com atribuição automática de endereços para a facilidade de gerenciamento de rede. Sua propriedade anti-interferência é excelente, com o apoio do algoritmo de back-off aleatório, em dois sentidos reconhecimento e anti-colisão.

No caso do ZigBee, possui uma rede em malha robusta, que permite a transferência de dados confiável. Os dispositivos definem um "Centro de Confiança", que é responsável na rede por funções de distribuição de chave, gestão de aplicações finais, a remoção de dispositivos da rede, atualizar lista de dispositivos e a manutenção da tabela de permissões. (ANDERSEN, 2016)

Thread opera com nó Líder que é responsável por tomar decisões dentro da rede. Pode promover Router Elegíveis dispositivos para Router para melhorar a conectividade da rede. Todos os roteadores da rede envia mensagens periódicas de Mesh Link Establishment (MLE) para atualizar as informações de roteamento e outros parâmetros em dispositivos para manter a conectividade da rede. Se um nó líder falhar, a rede promove automaticamente um router para se tornar um líder. (ANDERSEN, 2016)

Bluetooth LE , o dispositivo mestre centraliza a gestão de todos os outros dispositivos ligado a ele. (WANT; SCHILIT; LASKOWSKI, 2013)

5.3 Confiabilidade

Uma rede confiável é uma rede que é capaz de entregar ininterruptamente um serviço. A confiabilidade da sinalização bidirecional é vital para o recebimento e para o envio de dados entre dispositivos em uma Smart Home. O ponto-chave é, os dados precisam ir do ponto A ao ponto B de forma rápida e confiável. (SAMUEL, 2016)

Zigbee e Z-Wave não sofrem perda de sinal, devido à sua baixa largura de banda, que faz com que esses dois padrões sejam ótimos para dispositivos que só precisam de conexões de dados para ligar ou desligar. Z-Wave usa uma baixa frequência banda de rádio 908.4 MHz (US) e seus dispositivos não irá interferir com uma rede Wi-Fi, enquanto o ZigBee (apesar da maior parte do tempo operar em 915 MHz), Thread e Bluetooth LE operam em 2,4 GHz, que podem interferir com os sinais de Wi-Fi. (ZAREEI et al., 2011; SAMUEL, 2016; SARIJARI et al., 2014)

Thread não tem um hub central, por ser uma rede de malha totalmente distribuída, sem um ponto único de falha, isso significa um confiabilidade adicional comparado ao outros protocolos. (SAMUEL, 2016)

5.4 Banda

O consumo de banda é outro desafio para conectividade em Smart Home segundo (SAMUEL, 2016), gerenciamento da banda na rede doméstica é crucial. Com o aumento do número de dispositivos domésticos que usam internet, grande quantidade de dados é usado, o que pode requisitar um grande servidor para mantela. Uma rede leve pode facilmente transferir dados entre dispositivos e servidores sem aumentar consideravelmente a quantidade de dados.

Thread, Z-Wave e ZigBee não consomem mais de 250kbps, o Bluetooth LE acaba sendo o protocolo que mais consome (1 Mbps). (LINDBERG; COLLIN, 2016)

Thread tem mais uma qualidade, como demonstrado no na seção anterior, o mesmo usa uma rede distribuída, diminuindo assim uso do servidor. (threadgroup.org, 2015)

5.5 Consumo de Energia

A utilização da rede pode ser custoso, por isso um resultado eficaz no uso da energia se faz com menor quantidade dados trafegando. Os dispositivos conectados em um Smart Home, podem determinar o melhor momento para operar, o que, por sua vez proporciona maior eficiência no consumo de energia. (SAMUEL, 2016)

Segundo (WITHANAGE et al., 2014) e (ZAREEI et al., 2011) ZigBee é o mais eficiente em comparação a Z-Wave, usando os dispositivos que utilizam um modo de suspensão quando não estão em operação, minimizando assim o consumo de energia. Já no trabalho do (SIEKKINEN et al., 2012), é demonstrado que Bluetooth LE usa menos energia por bits enviado do que ZigBee.

Ao longo da pesquisa nesse trabalho, não foi encontrado artigo sobre Thread com alguma possível comparação.

5.6 Autenticação

O conjunto de novos dispositivos introduzidos em IoT, surge o medo de tentativas do uso mal intencionado de dispositivos não autorizados capaz de roubar ou até mesmo fornecer dados falsos. Dependendo do dado, isso poderia ser altamente crítico, a necessidade de autenticação adequada dos dispositivos e os dados, portanto se faz necessário. (ANDERSEN, 2016)

A autenticação é conhecido devido aos seus três aspectos principais. Entidade autenticadora verifica a veracidade de quem reivindicada a identidade ou presume quem é o remetente. Verifica os dados da mensagem que gerou a autenticação. Autenticação local garante a veracidade das informações do reivindicado ou remetente. (MENDES et al., 2015)

Segundo (ANDERSEN, 2016), ZigBee usa o protocolo TLS 1.2 para autenticação e Z-Wave usa TLS 1.1., Thread usa DTLS e Bluetooth LE possui três modos: "Sem segurança", senha e OoB (Out-of-Band).

5.7 Resumo

	ZigBee	Z-Wave	Bluetooth LE	Thread
Interoperabilidade	Aliança com Thread	Maior número de dispositivos e garantia de compatibilidade de versão	Já está em prática todos smartphones	Aliança com ZigBee e IPv6

	ZigBee	Z-Wave	Bluetooth LE	Thread
Autogestão	atribuição automática de endereços	Centro de Confiança	mestre centralizador	nó Líder
Confiabilidade	banda de rádio 908.4 MHz	banda de rádio 908.4 MHz em boa parte do tempo	opera em 2,4 GHz	opera em 2,4 GHz e rede sem hub central e distribuída
Banda	250kbps	250kbps	1Mbps	250kbps
Consumo de Energia	10 anos de bateria, modo suspensão	maior consumo comparado com o ZigBee	menor consumo por bytes transmitido	
Autenticação	TSL 1.2	TSL 1.1	Senha, PIN, Livre	DTSL

6 Conclusões e Sugestão de Trabalhos

Ao final desse trabalho de conclusão de curso foi possível ter uma visão sobre os principais protocolos disponíveis no mercado que norteiam o conceito de Smart Home. Foi possível também fazer uma análise comparativa do mesmo nas questões dos principais desafios em conectividade.

Os objetivos específicos “obter conhecimento sobre o estado da arte” e “apresentar desafios de conectividade em Smart Home”, foram alcançados através da pesquisa descritiva dos artigos encontrados e somente a meta “comparar como cada protocolo se comporta em cada desafio” ficou incompleta na seção 5.5 (Consumo de energia), pois como Thread se trata de uma tecnologia ainda muito recente (julho de 2015), ainda não se foi produzido um material farto de artigos sobre o mesmo.

Enquanto o objetivo geral, espera-se que ainda que minimamente o trabalho ajude no processo decisório de escolha do ou dos protocolos de comunicação voltados a Smart Home.

6.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

Fazer-se trabalho mais aprofundado e focado no protocolo Thread, que ao longo da pesquisa pareceu ter um grande potencial de mercado com forte investimento de empresas como a Google e Samsung, mas com poucos trabalhos acadêmicos sobre o mesmo.

Outro possível sugestão de trabalho, mais multidisciplinar, uma pesquisa analítica focando-se nos impactos positivos na qualidade de vida que um projeto de Smart Home pode trazer a idosos e ou pessoas com algum grau limitação.

Referências

AL-FUQAHA, A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 17, n. 4, p. 2347 – 2376, 2015. ISSN 1553-877X. Citado 5 vezes nas páginas 9, 23, 24, 25 e 26.

ANDERSEN, Ø. L. *Security of Internet of Things Protocol Stacks*. 2016. 105 p. Dissertação (Department of Telematics) — Norwegian University of Science and Technology. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11250/2404705>>. Citado 11 vezes nas páginas 21, 22, 28, 30, 33, 35, 37, 38, 46, 47 e 49.

ASGHAR, M. H.; NEGI, A.; MOHAMMADZADEH, N. Principle application and vision in Internet of Things (IoT). In: *Computing, Communication & Automation (ICCCA), 2015 International Conference on IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 427 – 431. Citado na página 22.

CHENG; KUNZ, J.; THOMAS. *A survey on smart home networking*. [S.l.], 2009. Disponível em: <<https://cs.uwaterloo.ca/~Brecht/courses/856/readings/home-networking/smart-home-networking-survey.pdf>>. Citado 5 vezes nas páginas 28, 31, 35, 36 e 46.

DESHPANDE, P.; MADANKAR, M. S. Techniques improving throughput of wireless sensor network: A survey. In: *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2015 International Conference on IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1 – 5. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 43.

FULLER, J. D.; RAMSEY, B. W. Rogue Z-Wave controllers: A persistent attack channel. In: *Local Computer Networks Conference Workshops (LCN Workshops), 2015 IEEE 40th IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 734 – 741. Citado na página 33.

GIL, A. C. *Como elaborar projeto de pesquisa*. quarta. São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-224-3169-8. Citado na página 42.

GOMEZ, C.; PARADELLS, J. Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies. *IEEE Communications Magazine*, v. 48, n. 6, p. 92 – 101, 2010. ISSN 0163-6804. Citado na página 32.

Inc. Gartner. *Gartner Says the Internet of Things Installed Base Will Grow to 26 Billion Units By 2020*. 2013. Acesso em 25 de maio 2016. Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/2636073>>. Citado na página 17.

KIM, S. et al. Restful Design and Implementation of Smart Appliances for Smart Home. In: *Ubiquitous Intelligence and Computing, 2014 IEEE 11th Intl Conf on and IEEE 11th Intl Conf on and Autonomic and Trusted Computing, and IEEE 14th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops (UTC-ATC-ScalCom) IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 717 – 722. Citado na página 32.

LINDBERG, F.; COLLIN, E. *A Study of Technical Solutions for IoT End Devices and an Evaluation Guide for Their Performance*. 2016. 111 p. Dissertação (Machine Design) — School of Industrial Engineering and Management. Disponível em:

<<http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:967797>>. Citado 3 vezes nas páginas 36, 46 e 48.

MENDES, T. D. P. et al. Smart Home Communication Technologies and Applications: Wireless Protocol Assessment for Home Area Network Resources. *Energies*, v. 8, n. 7, 2015. ISSN 1996-1073. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/8/7/7279>>. Citado 6 vezes nas páginas 18, 27, 42, 45, 46 e 49.

MONTENEGRO, G. et al. *Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15. 4 networks*. [S.l.], 2007. Citado na página 21.

NAGDEVE, S. H.; GHODESWAR, U. S. Synthesis of Advanced Encryption Standards using Xilinx 13.4. In: *Communications and Signal Processing (ICCSP), 2015 International Conference on IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1204 – 1208. Citado na página 22.

NESHEIM, M. B.; ROSNES, K. S. *A smarter home, the smarter choice?* 2016. Dissertação (Mestrado) — University of Stavanger, Norway. Citado na página 17.

PERUMAL, T. et al. Interoperability for smart home environment using web services. *International Journal of Smart Home*, Citeseer, v. 2, n. 4, p. 1 – 16, 2008. Citado na página 45.

PETRONE, J. *ZIGBEE ALLIANCE PRESS RELEASE: ZigBee Alliance and Thread Group Collaborate to Aid Development of Connected Home Products*. 2015. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/zigbee-alliance-press-release-zigbee-alliance-and-thread-group-collaborate-to-aid-development-of->>. Acesso em: 22/07/2016. Citado na página 37.

RAMYA, C. M.; SHANMUGARAJ, M.; PRABAKARAN, R. Study on ZigBee technology. In: *Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on IS - SN -*. [S.l.: s.n.], 2011. v. 6, p. 297 – 301. Citado na página 28.

RAO, B. B. P. et al. Cloud computing for Internet of Things \& sensing based applications. In: *Sensing Technology (ICST), 2012 Sixth International Conference on IS -*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 374 – 380. ISSN 2156-8065 VO - VL -. Citado na página 25.

SAMUEL, S. S. I. A review of connectivity challenges in IoT-smart home. In: *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC) IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1 – 4. Citado 9 vezes nas páginas 18, 25, 34, 37, 42, 43, 45, 47 e 48.

SANTOSO, F. K.; VUN, N. C. H. Securing IoT for smart home system. In: *2015 International Symposium on Consumer Electronics (ISCE) IS -*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1 – 2. ISSN 0747-668X VO - VL -. Citado na página 17.

SARIJARI, M. A. et al. Experimental studies of the ZigBee frequency agility mechanism in home area networks. In: *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops), 2014 IEEE 39th Conference on IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 711 – 717. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 47.

SHARMA, A.; TEWOLDE, G. S. Considerations in low power wireless sensor networks. In: *2015 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT) IS -*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 626 – 631. ISSN 2154-0357 VO - VL -. Citado na página 28.

- SIEKKINEN, M. et al. How low energy is bluetooth low energy?: Comparative measurements with ZigBee/802.15.4. In: *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2012 IEEE IS - SN - VO - VL -*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 232 – 237. Citado na página 48.
- threadgroup.org. *Thread Stack Fundamentals*. 2015. Disponível em: <http://threadgroup.org/Portals/0/documents/whitepapers/ThreadStackFundamentals_v2_public.pdf>. Citado 4 vezes nas páginas 37, 38, 40 e 48.
- WANT, R.; SCHILIT, B.; LASKOWSKI, D. Bluetooth LE Finds Its Niche. *IEEE Pervasive Computing*, v. 12, n. 4, p. 12 – 16, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 34, 35, 46 e 47.
- WILSON, C.; HARGREAVES, T.; HAUXWELL-BALDWIN, R. Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges. *Personal and Ubiquitous Computing*, v. 19, n. 2, p. 463 – 476, 2015. ISSN 1617-4917. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00779-014-0813-0>>. Citado na página 27.
- WITHANAGE, C. et al. A comparison of the popular home automation technologies. In: *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA) IS -*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 600 – 605. ISSN 2378-8534 VO - VL -. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 48.
- ZAREEI, M. et al. A comparative study of short range wireless sensor network on high density networks. In: *The 17th Asia Pacific Conference on Communications IS -*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 247 – 252. Citado 4 vezes nas páginas 30, 33, 47 e 48.
- ZHANG, Z. K. et al. Identifying and Authenticating IoT Objects in a Natural Context. *Computer*, v. 48, n. 8, p. 81 – 83, 2015. ISSN 0018-9162. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 27.

Apêndices

Análise Comparativa de Protocolos em Smart Home: Considerações em Conectividade

Marco Túlio Venturelli Nascimento

Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina

João Cândido Dovicchi

Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina

25 de Novembro de 2016

Resumo

Smart Home já faz parte de 0,77% das famílias em todo o mundo em 2016, espera-se crescer para 2,97% até 2020, aproximadamente 44,1 milhões de famílias, trazendo a convergência de uma série de áreas como: entretenimento, segurança, gerenciamento de energia e saúde. O bloco fundamental na construção da rede doméstica em Smart Home são os protocolos de comunicação. Como a maioria dos dispositivos são concebidos por empresas diferentes, com diferentes padrões e tecnologias, existe um grande problema na sua conectividade. Visando os desafios de conectividade que existem em um projeto de Smart Home, este artigo pretende analisar os principais protocolos de dispositivos sem fio utilizados em redes doméstica e comparar os mesmos nos desafios em conectividade.

Palavras-chaves: Smart Home. Thread. ZigBee. Z-Wave. Bluetooth LE

1 Introdução

Os dispositivos que fazem parte de Smart Home formam uma rede local onde as comunicações são ativadas por diferentes protocolos. Como a maioria dos dispositivos são concebidos por empresas diferentes, com diferentes padrões e tecnologias, existe um grande problema na sua conectividade. Há muitos esquemas de comunicação e interfaces dentro de uma mesma rede doméstica, essas conexões devem permitir uma comunicação fácil entre os dispositivos sem interferência com outras redes sem fio. Entre os inúmeros protocolos usados pra conexão na rede sem fio em uma Smart Home se destacam Bluetooth LE, ZigBee, Z-Wave e o Thread. (SAMUEL, 2016)

Especificações de Smart Home em interconexão e tecnologias de comunicação são relativamente novos e ou em desenvolvimento, a maioria dos protocolos de comunicação disponíveis foram desenvolvidos antes do advento da visão Smart Home. Consequentemente, os estudos de avaliação são cruciais para determinar se estes protocolos são adequados para as necessidades de comunicação de Smart Home. (MENDES et al., 2015)

2 Protocolos

2.1 ZigBee

ZigBee é desenvolvido pela ZigBee Alliance, é um protocolo de rede aberto baseada em padrões suportados exclusivamente pela ZigBee Alliance que utiliza os serviços de transporte da especificação IEEE 802.15.4. (RAMYA; SHANMUGARAJ; PRABAKARAN, 2011) O nome “ZigBee” vem do padrão em zigue-zague do vôo das abelhas fazem ao mover-se entre as flores para coletar o pólen, que se assemelha as teias de ligações que se formam em uma rede sem fios, por meio da qual os pacotes são encaminhados no protocolo ZigBee. (SHARMA; TEWOLDE, 2015)

ZigBee é uma tecnologia wireless bidirecional, caracterizado por ter um curto alcance, baixo custo, baixo consumo de energia, baixa taxa de transferência de dados e ser de tamanho pequeno, o que torna mais adequado para todos os domínios associados à monitorização e controle remoto que integram com sensores funcionais. ZigBee funciona banda livre de 2,4 GHz, com uma taxa de dados de até 250Kbps. (CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009)

2.2 Z-Wave

Z-Wave é a tecnologia mais amplamente utilizado em sistemas de automação residencial, e de longe a tecnologia mais amplamente aceita. Criada pela Z-Wave Alliance, oferece boa confiabilidade da rede e estabilidade. Z-Wave é um dos mais antigos protocolos de automação doméstica disponíveis. A melhor característica de dispositivos Z-Wave é a sua compatibilidade cruzada entre os diferentes sistemas. Cada dispositivo Z-Wave tem um único ID de rede e cada rede tem uma identificação única, tornando o sistema seguro. Z-Wave é um protocolo de malha, e portanto, os dispositivos podem falar um com o outro. (CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009)

2.3 Bluetooth LE

Em 1998, Ericsson, Nokia e a Intel formaram desenvolveram o padrão conhecido como Bluetooth, o nome Bluetooth foi dado em homenagem ao rei Harald Bluetooth, que uniu os países da Escandinávia em 970 dC., já que Bluetooth pretendeu “unir” os telefones celulares, acessórios e notebooks. Além disso, a Ericsson ea Nokia são baseados nos países escandinavos (Suécia e Finlândia, respectivamente). (WANT; SCHILIT; LASKOWSKI, 2013)

Bluetooth LE (IEEE 802.15.1) é um padrão destinado a ser uma maneira de conexão segura e barata de transferência de dados entre dispositivos compatíveis. Bluetooth LE tem as bandas de rádio de frequência de 2,4-2,485 GHz. Ele reduz significativamente o consumo de energia de dispositivos Bluetooth e permite a operação de longo prazo usando baterias de célula moeda. Bluetooth oferece uma infra-estrutura de ligação direta a partir de smartphones e tablets, permitindo aos usuários controlar eletrodomésticos de seus dispositivos móveis. (SAMUEL, 2016)

2.4 Thread

Thread é um protocolo aberto de rede sem fio em IPv6, a próxima geração de protocolo de endereçamento de internet. (SAMUEL, 2016) Proposto em 2014 por membros fundadores do Thread Group (ARM, Freescale Semiconductor, Nest Labs, Samsung Electronics, Silicon Laboratories e Yale Security), o padrão foi lançado em julho 2015. (ANDERSEN, 2016)

3 Resultados: Desafios de conectividade

A seguir será apresentado resumidamente os principais desafios de conectividade em Smart Home segundo (SAMUEL, 2016) e (MENDES et al., 2015), que servem de base para avaliações e a análise com os protocolos:

3.1 Interoperabilidade

A interoperabilidade é definida como a capacidade dos sistemas, aplicações e serviços trabalharem em conjunto de forma confiável e previsível. É a capacidade de dois ou mais sistemas de trocar informações e usar as informações trocadas. (PERUMAL et al., 2008)

ZigBee com sua grande capacidade de conectar dispositivos junto com o acordo com Thread Group consegue dar um passo grande a frente dos concorrentes. Segundo (SAMUEL, 2016), esse é o grande passo na consolidação de um ambiente amplamente fragmentado que inclui uma miríade esforços de padrões em todo o IoT.

Enquanto Bluetooth LE serve como uma camada de ligação entre smartphones e Smart Homes, economizando tempo e dinheiro na adequação da tecnologia na parte de hardware. (WANT; SCHILIT; LASKOWSKI, 2013)

Já o Z-Wave segundo (SARIJARI et al., 2014), pode ter a interoperabilidade superior, mas possui um única fonte de emissão e por não ser um protocolo aberto e a Sigma Designs detém a propriedade intelectual e os fabricantes dos chips precisam da licença para ter direito de usar.

Thread além da aliança com ZigBee, possui o apoio da Google e fato de usar IPv6 já está preparado para os novos dispositivos sem precisar de adaptação. (LINDBERG; COLLIN, 2016)

3.2 Autogestão

Para existir auto gestão em Smart Home os dispositivos inteligentes devem monitorar sua própria saúde operacional e notificar os usuários sobre os possíveis problemas. Várias aplicações de rede de sensores são operados sem o apoio de infraestrutura ou a capacidade de manutenção e reparação. Para operar e colaborar com outros dispositivos, para se adaptar a falhas, mudanças no ambiente, é o requisito principal dos sensores nós (controladores), o qual se destina a ser completamente independente da intervenção humana. (MENDES et al., 2015)

Segundo (CHENG; KUNZ; THOMAS, 2009), a instalação e implantação de Z-Wave é simples, com atribuição automática de endereços para a facilidade de ge-

renciamento de rede. Sua propriedade anti-interferência é excelente, com o apoio do algoritmo de back-off aleatório, em dois sentidos reconhecimento e anti-colisão.

No caso do ZigBee, possui uma rede em malha robusta, que permite a transferência de dados confiável. Os dispositivos definem um “Centro de Confiança”, que é responsável na rede por funções de distribuição de chave, gestão aplicações finais, a remoção de dispositivos da rede, atualizar lista de dispositivos e a manutenção da tabela de permissões. (ANDERSEN, 2016)

Thread opera como uma rede de auto-gestão, como todos os dispositivos compartilhando as mesmas informações, se o dispositivo for REED, pode se tornar um roteador ou até mesmo o Roteador de Borda da rede se necessário.

Bluetooth LE, o dispositivo mestre centraliza a gestão de todos os outros dispositivos ligado a ele. (WANT; SCHILIT; LASKOWSKI, 2013)

3.3 Confiabilidade

Uma rede confiável é uma rede que é capaz de entregar ininterruptamente um serviço. A confiabilidade da sinalização bidirecional é vital para o recebimento e para o envio de dados entre dispositivos em uma Smart Home. (SAMUEL, 2016)

Zigbee e Z-Wave não sofrem perda de sinal, devido à sua baixa largura de banda, que faz com que esses dois padrões sejam ótimo para dispositivos que só precisam de conexões de dados para ligar ou desligar. Z-Wave usa uma baixa frequência banda de rádio 908.4 MHz (US) e seus dispositivos não irá interferir com uma rede Wi-Fi, enquanto o ZigBee (apesar da maior parte do tempo operar em 915 MHz), Thread e Bluetooth LE operam em 2,4 GHz, que podem interferir com os sinais de Wi-Fi. (ZAREEI et al., 2011; SAMUEL, 2016; SARIJARI et al., 2014)

Thread não tem um hub, por ser uma rede de malha totalmente distribuída, sem um ponto único de falha, isso significa um confiabilidade adicional comparado ao outros protocolos. (SAMUEL, 2016)

3.4 Banda

O consumo de banda é outro desafio para conectividade em Smart Home segundo (SAMUEL, 2016), gerenciamento da banda na rede doméstica é crucial. Com o aumento do número de dispositivos domésticos que usam internet, grande quantidade de dados é usado, o que pode requisitar um grande servidor para mantela. Uma rede leve pode facilmente transferir dados entre dispositivos e servidores sem aumentar consideravelmente a quantidade de dados.

Thread, Z-Wave e ZigBee não consomem mais de 250kbps, o Bluetooth LE acaba sendo o protocolo que mais consome (1 Mbps). (LINDBERG; COLLIN, 2016)

Thread tem mais um qualidade, como demonstrado no na seção anterior, o mesmo usa uma rede distribuída, diminuindo assim uso do servidor. (threadgroup.org, 2015)

3.5 Consumo de energia

A utilização da rede pode ser custoso, por isso um resultado eficaz no uso da energia se faz com menor quantidade dados trafegando. Os dispositivos conectados

em um Smart Home, podem determinar o melhor momento para operar, o que, por sua vez proporcionar maior eficiência no consumo de energia. (SAMUEL, 2016)

Segundo (WITHANAGE et al., 2014) e (ZAREEI et al., 2011) ZigBee é o mais eficiente em comparação a Z-Wave, usando os dispositivos que utilizam um modo de suspensão quando não estão em operação, minimizando assim o consumo de energia. Já no trabalho do (SIEKKINEN et al., 2012), é demonstrado que Bluetooth LE usa menos energia por bits enviado do que ZigBee.

Ao longo da pesquisa nesse trabalho, não foi encontrado artigo sobre Thread com alguma possível comparação.

3.6 Autenticação

O conjunto de novos dispositivos introduzidos em IoT, surge o medo de tentativas uso mal intencionado de dispositivos não autorizados capaz de roubar ou até mesmo fornecer dados falsos. Dependendo do dado, isso poderia ser altamente crítico, a necessidade de autenticação adequada dos dispositivos e os dados, portanto se faz necessário. (ANDERSEN, 2016)

A autenticação é conhecido devido aos seus três aspectos principais. Entidade autenticadora verifica a veracidade de quem reivindicada a identidade ou presume quem é o remetente. Verifica os dados da mensagem que gerou a autenticação. Autenticação local garante a veracidade das informações do reivindicado ou remetente. (MENDES et al., 2015)

Segundo (ANDERSEN, 2016), ZigBee usa o protocolo TLS 1.2 (Transport Layer Security) para autenticação e Z-Wave usa TLS 1.1., Thread usa DTLS e Bluetooth LE possui três modos: “Sem segurança”, senha e OoB (Out-of-Band).

4 Conclusão

Este artigo resume os padrões disponíveis no mercado que são os blocos fundamentais na construção da rede doméstica em Smart Home. Através dos desafios em conectividade foi possível fazer uma análise comparativa dos protocolos na questão de conectividade.

Referências

ANDERSEN, Ø. L. *Security of Internet of Things Protocol Stacks*. 2016. 105 p. Dissertação (Department of Telematics) — Norwegian University of Science and Technology. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11250/2404705>>.

CHENG; KUNZ, J.; THOMAS. *A survey on smart home networking*. [S.l.], 2009. Disponível em: <<https://cs.uwaterloo.ca/~Brecht/courses/856/readings/home-networking/smart-home-networking-survey.pdf>>.

LINDBERG, F.; COLLIN, E. *A Study of Technical Solutions for IoT End Devices and an Evaluation Guide for Their Performance*. 2016. 111 p. Dissertação (Machine

Design) — School of Industrial Engineering and Management. Disponível em: <<http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:967797>>.

MENDES, T. D. P. et al. Smart Home Communication Technologies and Applications: Wireless Protocol Assessment for Home Area Network Resources. *Energies*, v. 8, n. 7, 2015. ISSN 1996-1073. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/8/7/7279>>.

PERUMAL, T. et al. Interoperability for smart home environment using web services. *International Journal of Smart Home*, Citeseer, v. 2, n. 4, p. 1 – 16, 2008.

RAMYA, C. M.; SHANMUGARAJ, M.; PRABAKARAN, R. Study on ZigBee technology. In: *Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on IS - SN* -. [S.l.: s.n.], 2011. v. 6, p. 297 – 301.

SAMUEL, S. S. I. A review of connectivity challenges in IoT-smart home. In: *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC) IS - SN - VO - VL* -. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1 – 4.

SARIJARI, M. A. et al. Experimental studies of the ZigBee frequency agility mechanism in home area networks. In: *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops), 2014 IEEE 39th Conference on IS - SN - VO - VL* -. [S.l.: s.n.], 2014. p. 711 – 717.

SHARMA, A.; TEWOLDE, G. S. Considerations in low power wireless sensor networks. In: *2015 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT) IS* -. [S.l.: s.n.], 2015. p. 626 – 631. ISSN 2154-0357 VO - VL -.

SIEKKINEN, M. et al. How low energy is bluetooth low energy?: Comparative measurements with ZigBee/802.15.4. In: *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2012 IEEE IS - SN - VO - VL* -. [S.l.: s.n.], 2012. p. 232 – 237.

threadgroup.org. *Thread Stack Fundamentals*. 2015. Disponível em: <http://threadgroup.org/Portals/0/documents/whitepapers/ThreadStackFundamentals_v2_public.pdf>.

WANT, R.; SCHILIT, B.; LASKOWSKI, D. Bluetooth LE Finds Its Niche. *IEEE Pervasive Computing*, v. 12, n. 4, p. 12 – 16, 2013.

WITHANAGE, C. et al. A comparison of the popular home automation technologies. In: *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA) IS* -. [S.l.: s.n.], 2014. p. 600 – 605. ISSN 2378-8534 VO - VL -.

ZAREEI, M. et al. A comparative study of short range wireless sensor network on high density networks. In: *The 17th Asia Pacific Conference on Communications IS* -. [S.l.: s.n.], 2011. p. 247 – 252.